

# Лекція №1



## ПОНЯТТЯ ПРО ПАРАЛЕЛЬНІ ТА РОЗПОДІЛЕНІ ОБЧИСЛЕННЯ

# Поняття про паралельні та розподілені обчислення

## Послідовні обчислення (Serial Computing)

2

У процесі розробки та використання програмного забезпечення (ПЗ) для *послідовних обчислень (serial computation)*:

Задача розбивається на дискретну послідовність інструкцій (операторів).

Інструкції виконуються послідовно одна за одною.

Код програми виконується на єдиному процесорі (single processor).

В кожний момент часу може виконуватися тільки одна інструкція.

Схема послідовних обчислень наведена на рис. 1.

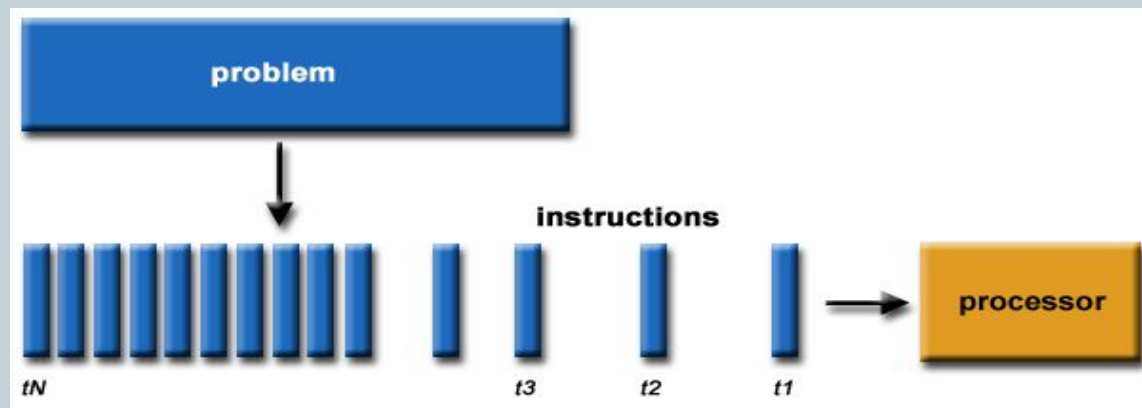


Рис. 1. Схема послідовних обчислень

**Приклад.** Нарахування заробітної плати працівників підприємства з використанням послідовного підходу (рис. 2).

3

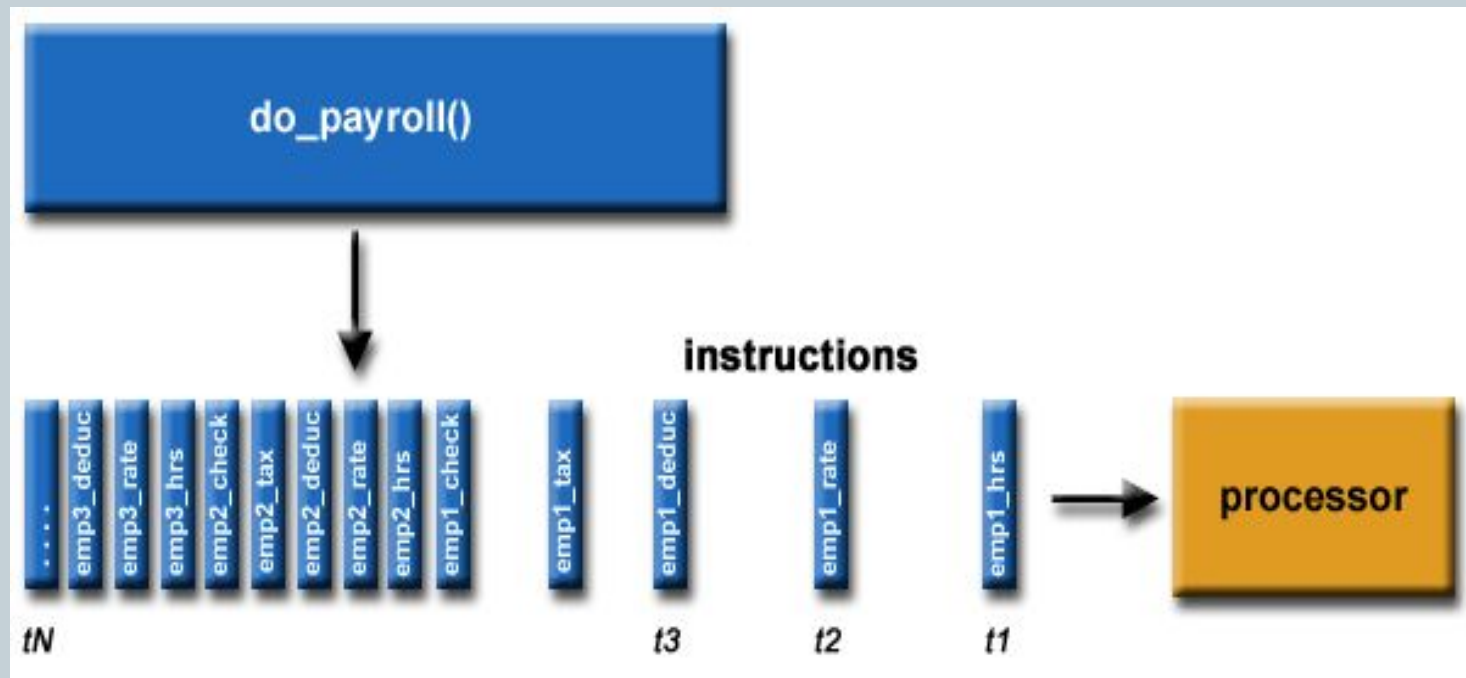


Рис. 2. Схема обчислення зарплати

# Паралельні обчислення (Parallel Computing)

4

**Паралельні обчислення** — одночасне використання кількох ресурсів ЕОМ для розв'язування обчислювальних задач:

- Задача *розбивається* на підзадачі, які можуть виконуватися у один і той самий момент часу.
- Кожна підзадача в свою чергу розбивається на послідовність інструкцій.
- Інструкції кожної підзадачі *виконуються одночасно* на різних процесорах.
- У процесі обчислень використовується загальний механізм контролю-координації.

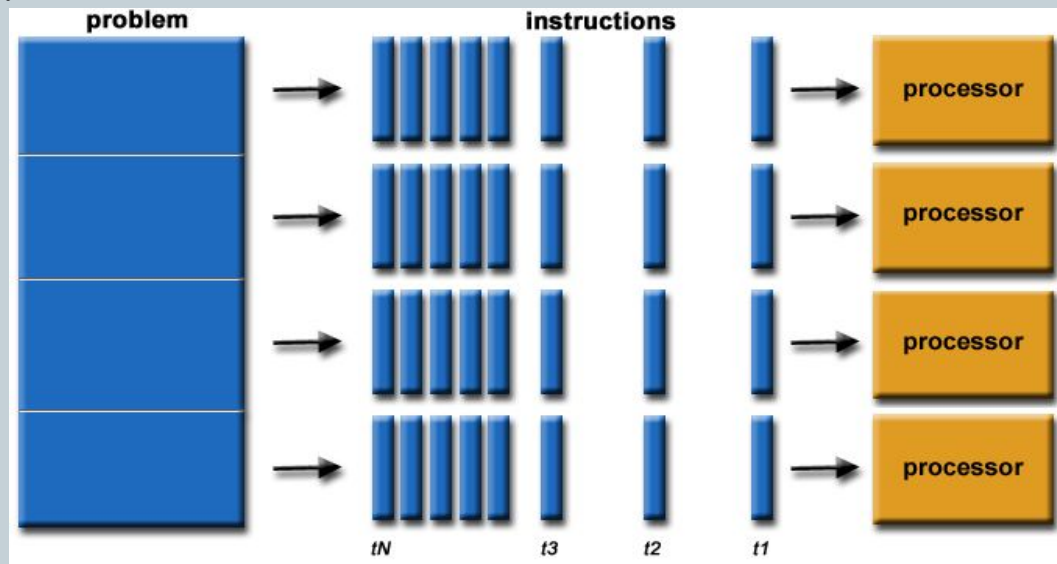


Рис. 3. Схема паралельних обчислень

# Паралельні обчислення (Parallel Computing)

5

Обчислювальна задача має:

- *Допускати розбиття на незалежні підзадачі, які можна виконувати одночасно (допускати паралелізм).*
- *З використанням кількох обчислювальних ресурсів, працюючих паралельно, розв'язуватися за коротший проміжок часу, ніж з використанням одного процесора.*

**Паралелізм** — це сукупність математичних, алгоритмічних, програмних і апаратних засобів, що забезпечують можливість паралельного виконання задачі.

Під типовими *обчислювальними ресурсами*, які використовують у процесі *паралельних обчислень*, розуміють:

- *Один комп'ютер з кількома процесорами.*
- *Довільну кількість комп'ютерів, з'єднаних у мережу.*

**Приклад.** Процедура нарахування заробітної плати працівників підприємства з використанням паралельного підходу (рис. 4.).

6

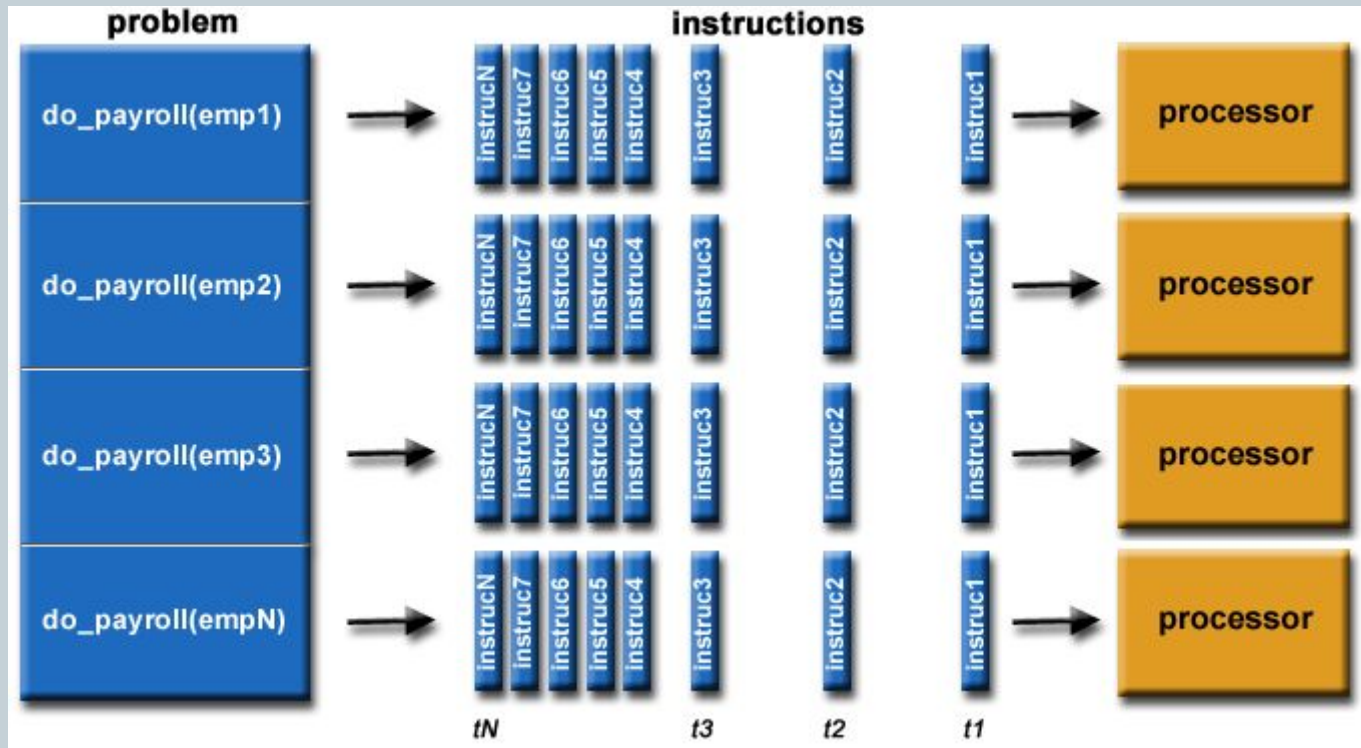


Рис. 4. Схема паралельного обчислення зарплати

# Засоби для здійснення паралельних обчислень:

7

## ● апаратні:

- засоби для проведення обчислень (обчислювальна техніка):
  - обчислювальна техніка, зібрана з стандартних комплектуючих;
  - обчислювальна техніка, зібрана з спеціальних комплектуючих;
- засоби візуалізації;
- засоби для зберігання і обробки даних;

## ● програмні:

- програмні засоби загального призначення (операційні системи, стандартні бібліотеки, мови програмування, компілятори, профайлери, дебагери і т.п.);
- спеціальні програмні засоби: бібліотеки (PVM, MPI); засоби об'єднання ресурсів (Dynamite, Globus та інші).

# Паралельні комп'ютери

8

*Паралельні комп'ютери* поділяються на:

## 1) **Сучасні автономні комп'ютери.**

Вони є паралельними з точки зору їх внутрішньої будови:

- Наявність численних функціональних модулів (L1-кеш, L2-кеш, пристрої попереджувального вибору команд (prefetch), decode, floating-point, графічні процесори (GPU), модулі для цілої та дійсної арифметики і т.д.)
- Багатоядерність чи багатопроцесорність (Multiple execution units/cores).
- Підтримка використання потоків (Multiple hardware threads).



# Паралельні комп'ютери

9

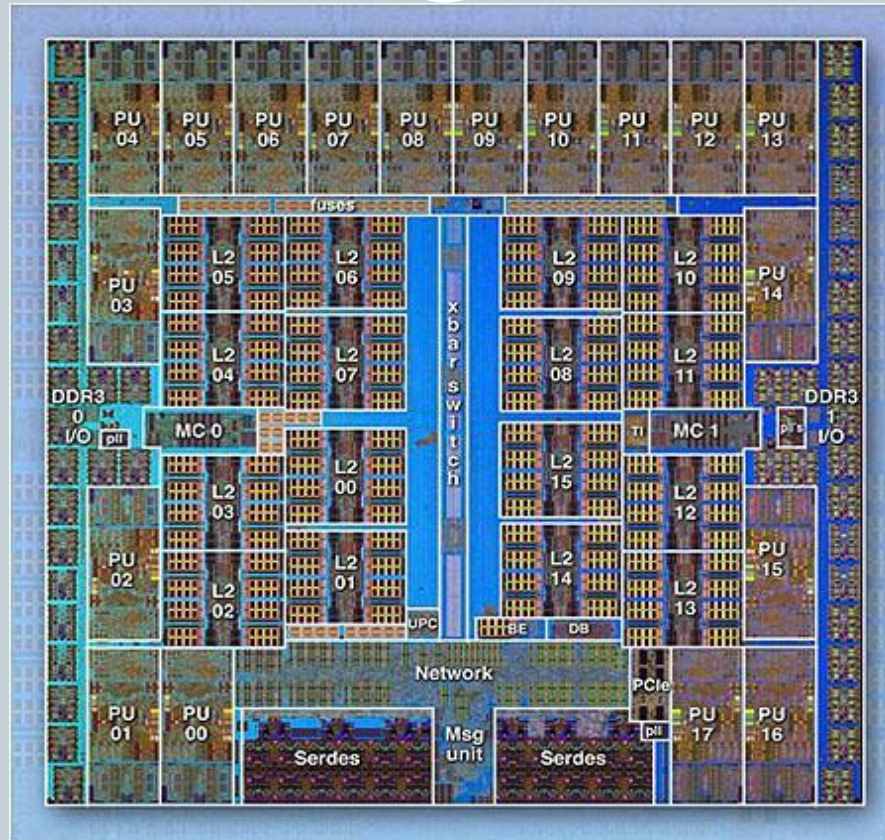


Рис. 5.

Обчислювальний чіп IBM VG/Q з 18 ядрами (PU) та 16 кеш-модулями 2-го рівня (L2)

# Паралельні комп'ютери

10

2) Кластери, які складаються із кількох робочих станцій, з'єднаних мережею (див рис. 6).

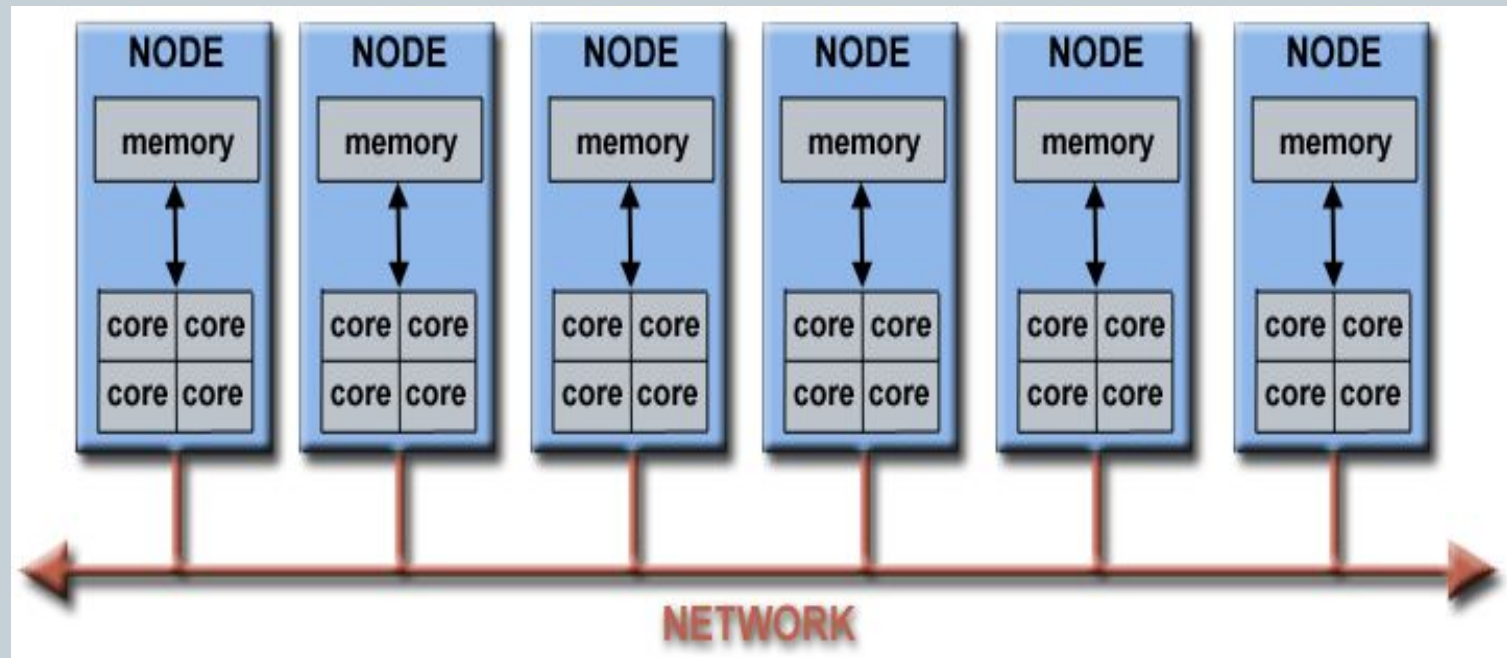


Рис. 6. Схема кластера

# Схема кластера (на прикладі кластера LLNL)

11

- Кожний обчислювальний вузол сам є багатопроцесорним ком-п'ютером.
- Вузли кластера з'єднані у Infiniband мережу.
- Кластер містить багатопроцесорні вузли спеціального призначення, які не використовуються для обчислень.

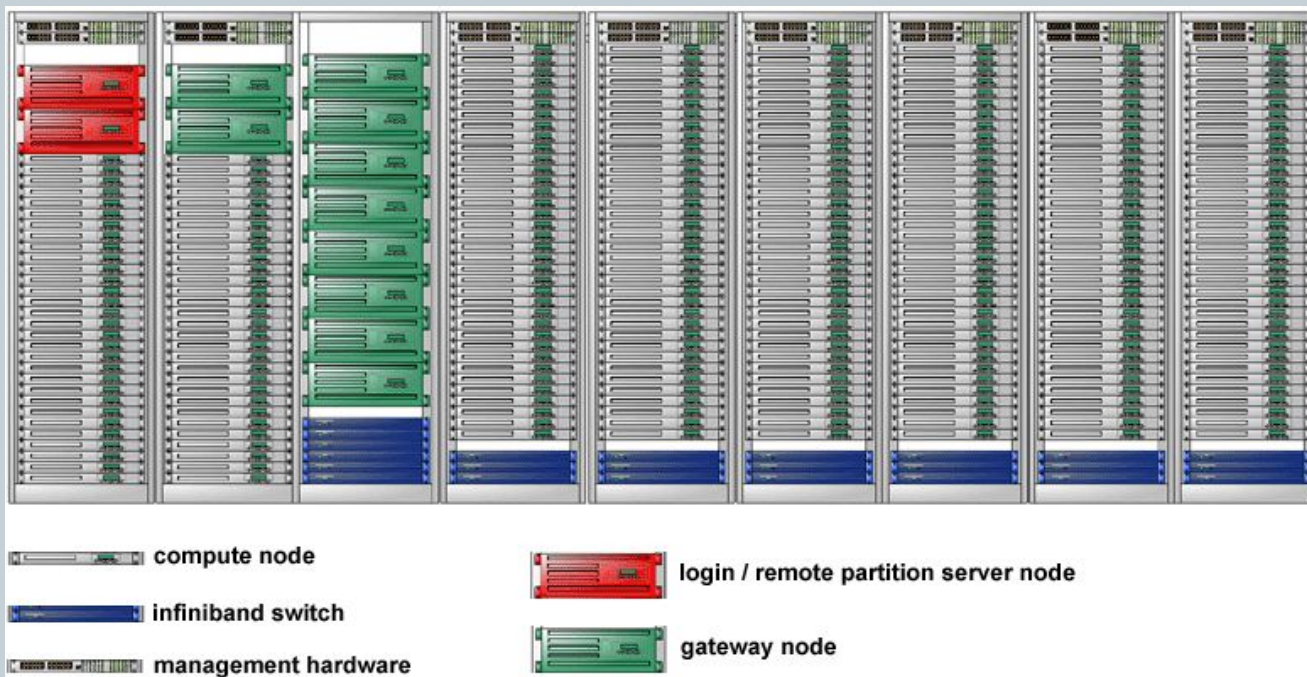
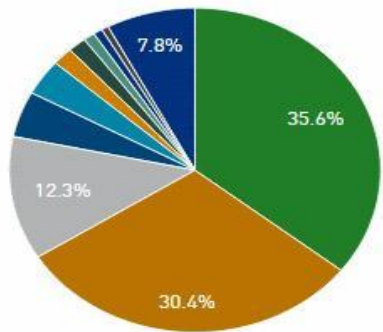


Рис. 7. Схема будови кластера LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory)

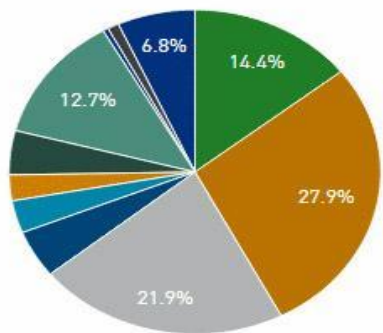
# Дані про найбільші у світі паралельні суперкомп'ютери

12

Vendors System Share



Vendors Performance Share



- HP
- IBM
- Cray Inc.
- SGI
- Bull
- Dell
- Fujitsu
- NUDT
- RSC Group
- Atipa
- Others

VENDORS	COUNT	SYSTEM SHARE (%)
HP	179	35.8
IBM	153	30.6
Cray Inc.	62	12.4
SGI	23	4.6
Bull	18	3.6
Dell	9	1.8
Fujitsu	8	1.6
NUDT	5	1
RSC Group	4	0.8
Atipa	3	0.6
NEC	3	0.6
MEGWARE	3	0.6
T-Platforms	2	0.4
Itautec	2	0.4
Hitachi	2	0.4
Oracle	2	0.4
Self-made	2	0.4
ClusterVision	2	0.4
Dawning	2	0.4
NEC/HP	1	0.2
Acer Group	1	0.2
PEZY Computing / Exascaler Inc.	1	0.2
HP/WIPRO	1	0.2
Inspur	1	0.2
Niagara Computers, Supermicro	1	0.2
Clustervision/Supermicro	1	0.2
AMD, ASUS, FIAS, GSI	1	0.2
Xenon Systems	1	0.2
Netweb Technologies	1	0.2
IPE, Nvidia, Tyan	1	0.2
Adtech	1	0.2
Intel	1	0.2
NRCPCET	1	0.2
Supermicro	1	0.2
Hitachi/Fujitsu	1	0.2

Рис. 8. Ринок суперкомп'ютерів (за даними сайту [Top500.org](http://Top500.org))



# Актуальність використання паралельних обчислень

13

Важливість дослідження та використання паралельних обчислень зумовлена наступними причинами:

- **Явища у реальному світі відбуваються паралельно** (The Real World is Massively Parallel).

Тому паралельні обчислення є більш придатними для моделювання складних взаємопов'язаних об'єктів, явищ, систем та процесів порівняно із послідовними обчисленнями (приклади таких об'єктів наведені на рис. 9.)



Рис. 9. Приклади складних процесів та явищ

# Актуальність використання паралельних обчислень

14

- **Економія часу та грошей:**

використання значних обчислювальних ресурсів може пришвидшити процес знаходження розв'язків складних задач, причому вигреш від оперативності часто перевищує вартість використання додаткових ресурсів

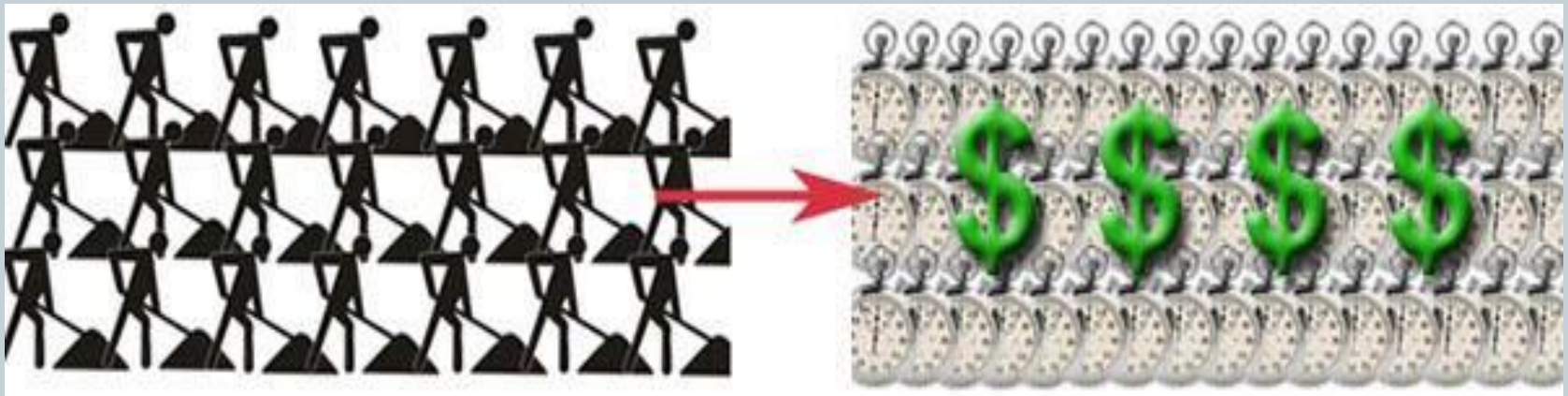


Рис. 10. Економічний ефект від використання паралельних обчислень

- **Паралельні комп'ютери можуть бути побудовані із дешевих зручних компонентів.**

# Актуальність використання паралельних обчислень

15

- **Можливість знаходження розв'язків складних практичних та теоретичних задач:**

відомо, що багато практично важливих задач мають настільки велику розмірність, що практично нереально їх розв'язати на одному персональному комп'ютері, особливо із обмеженою пам'яттю.

Прикладом таких задач є:

- а) **задачі із переліку "Grand Challenge Problems"** ([en.wikipedia.org/wiki/Grand\\_Challenge](http://en.wikipedia.org/wiki/Grand_Challenge)), які вимагають використання PetaFLOPS і PetaBytes комп'ютерних ресурсів.



Рис. 11. Деякі складні задачі біології та астрономії

**б) Web-пошуковики**, які виконують мільйони транзакцій щосекунди.

**в) Задачі прогнозу погоди:**

область розв'язку (атмосфера) розбивається на окремі просторові зони, причому для розв'язку часових змін обчислень в кожній зоні повторюється багато разів. Якщо об'єм зони рівний  $1 \text{ км}^3$ , то для моделювання  $10 \text{ км}$  шару атмосфери необхідно  $5 \cdot 10^8$  таких зон. Припустимо, що обчислення в кожній зоні вимагає  $200$  операцій з плаваючою крапкою, тоді за один часовий крок необхідно виконати  $10^{11}$  операцій з плаваючою крапкою. Для того, щоб провести розрахунок прогнозу погоди з передбаченням на  $10$  днів з  $10$ -ти хвилинним кроком в часі, ЕОМ продуктивністю  $100 \text{ Mflops}$  ( $10^8$  операцій з плаваючою крапкою за секунду) необхідно  $10^7$  секунд чи понад  $100$  днів. Для того, щоб провести розрахунок за  $10 \text{ хв}$ , необхідна ЕОМ продуктивністю  $1.7 \text{ Tflops}$ .



# Актуальність використання паралельних обчислень

17

- **Забезпечення одночасності багатьох дій (concurrency).**



Рис. 12. Забезпечення одночасної роботи

- **Використання глобальних ресурсів:**  
використання ресурсів LAN або Internet у випадку, коли локальні обчислювальні ресурси недостатні. Наприклад, ресурс SETI@home ([setiathome.berkeley.edu](http://setiathome.berkeley.edu)) використовує понад 1,5 мільйонів користувачів із усього світу.



Рис. 13. Використання нелокальних ресурсів

# Актуальність використання паралельних обчислень

18

- **Краще використання паралельного апаратного забезпечення:**

Сучасні ПЕОМ та гаджети мають паралельну багатоядерну архітектуру. Паралельне ПЗ значно краще використовує можливості цих пристроїв у зв'язку із врахуванням багатопотоковості та багатоядерності цих програми розроблені у межах «послідовного підходу».

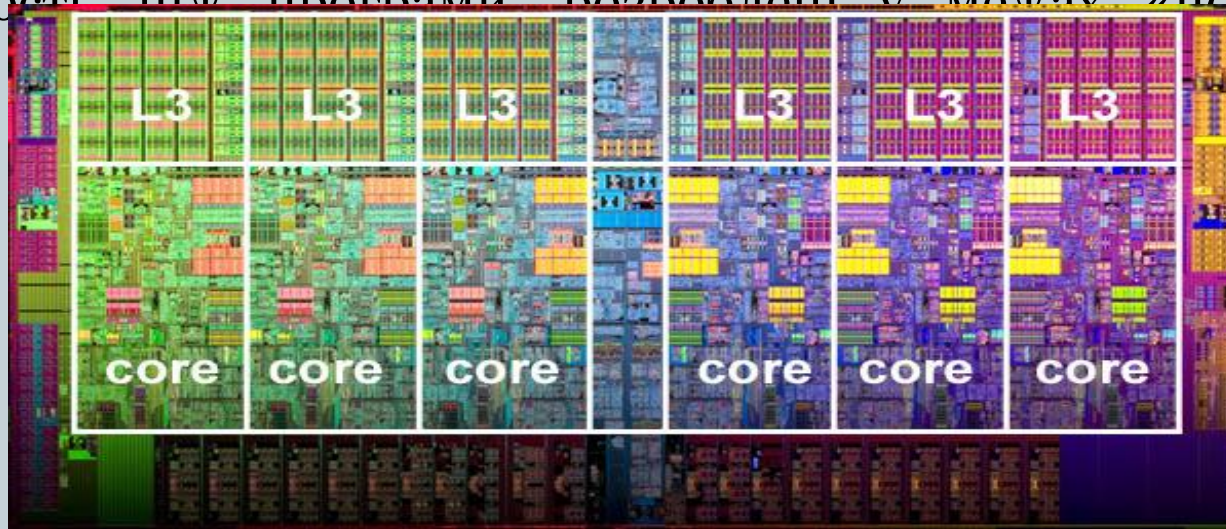


Рис. 14. Процесор Intel Xeon з 6 ядрами та 6 модулями L3-кеша.

# Перспективи використання паралельних обчислень

Згідно до прогнозів, наведених у [1], тренд останніх 20 років, який полягає у використанні швидких мереж, багатопроцесорних архітектур та розподілених архітектур, ясно вказує на те, що *майбутнє в технологіях комп'ютерних обчислень за паралелізмом.*

На рис. 15 можна переконатися, що за цей період спостерігається зростання продуктивності суперкомп'ютерів понад у 500000 разів. Є сподівання, що процес зростання продуктивності не буде значно сповільнитися у майбутньому.

Зараз мова йде про Exascale-обчислення (Exascale Computing), де  $\text{Exaflop} = 10^{18}$  обчислень у секунду.

# Перспективи використання паралельних обчислень

20

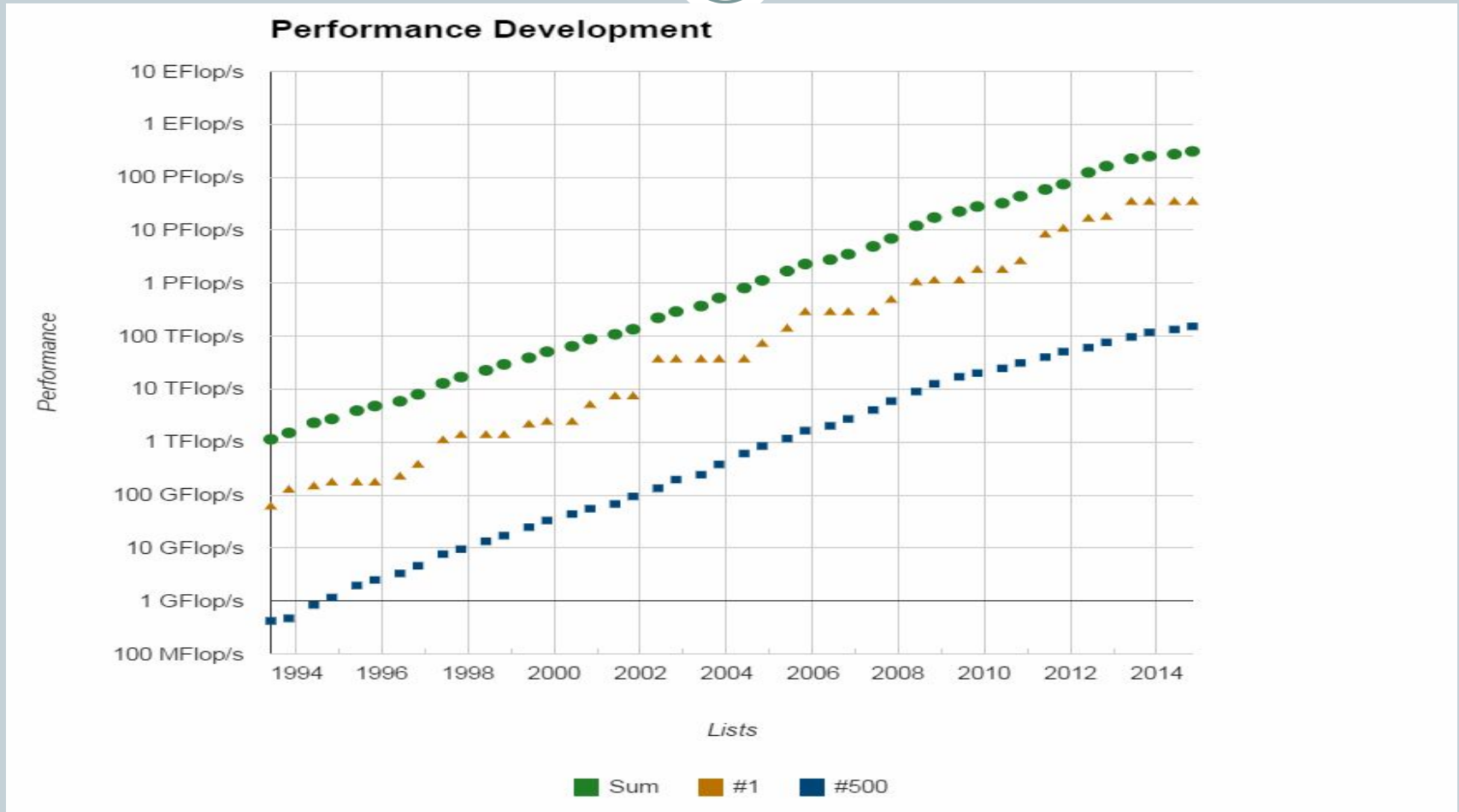


Рис. 15. Зростання продуктивності суперкомп'ютерів (за даними [Top500.org](http://Top500.org)).

# Сфери застосування паралельних обчислень

## а) Наука та інженерія:

Історично, паралельні обчислення розглядалися як засіб для моделювання складних явищ та розв'язування різноманітних громіздких наукових та інженерних задач у таких галузях:

- науки про природу — моделювання атмосферних явищ, дослідження забруднення оточуючого середовища, задачі геології та сейсмології;
- фізика, астрономія та інженерія — розв'язування задач прикладної та ядерної фізики, електротехніки, фізики елементарних частинок, матеріалознавства, нанотехнологій, мікроелектроніки;
- біологія, хімія та медицина — дослідження у галузях біотехнологій, генетики, екології, популяційної біології, вірусології, фармакології та молекулярної хімії;
- математика та комп'ютерні науки.



# Сфери застосування паралельних обчислень

22

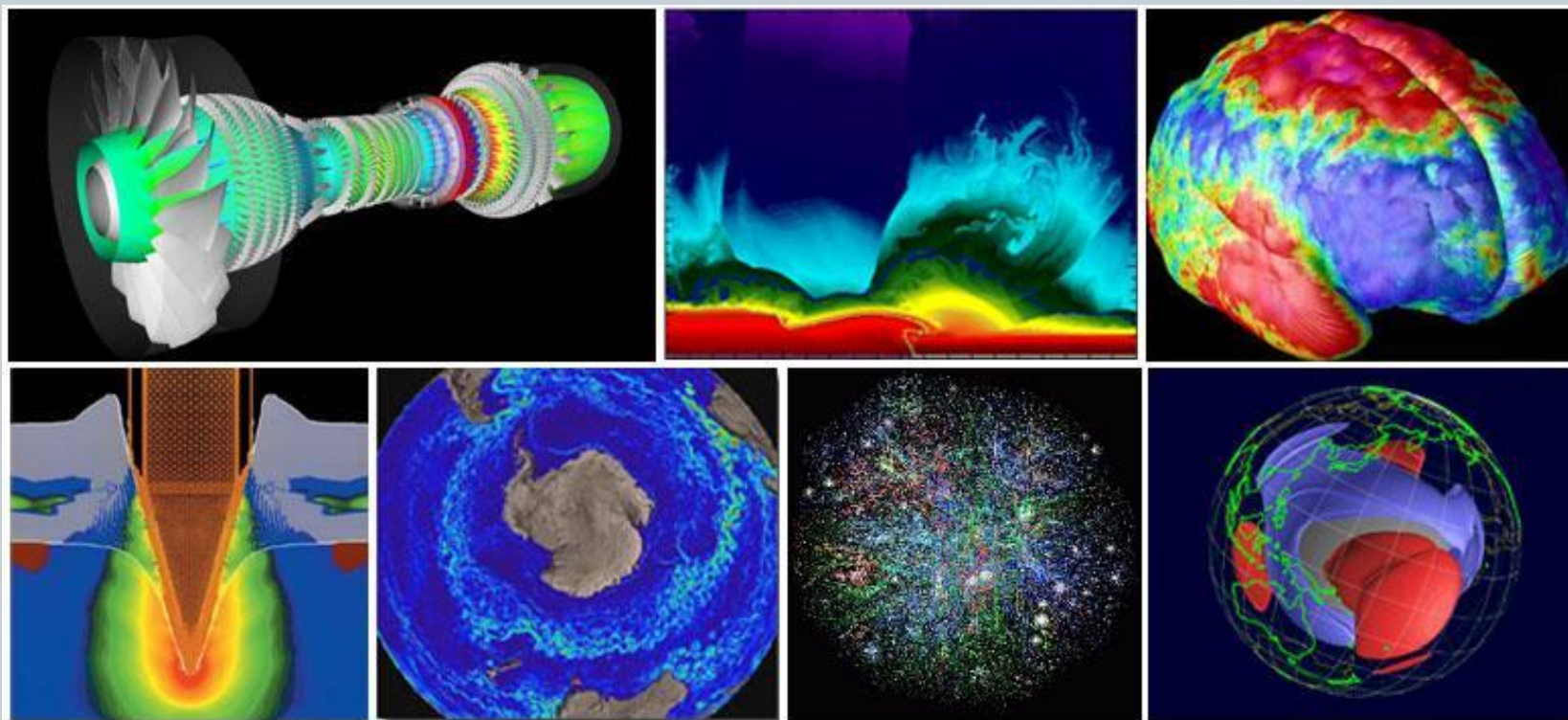


Рис. 16. Сфери застосування паралельних обчислень

# Сфери застосування паралельних обчислень

## б) Індустрія та комерція

У наш час індустриальні та комерційні застосування є основним драйвером розвитку інформаційних технологій. Паралельні обчислення використовуються при розв'язуванні задач (див. рис. 17):

- розвідування корисних копалин;
- фінансове та економічне моделювання;
- обробки великих БД, Big Data, Data Mining;
- web-пошук, web-торгівля;
- обробка медичних зображень та діагностування;
- обробка графіки, мультимедіа та віртуальна реальність;
- мережева співпраця;
- військова справа, розробка зброї.

# Сфери застосування паралельних обчислень

24

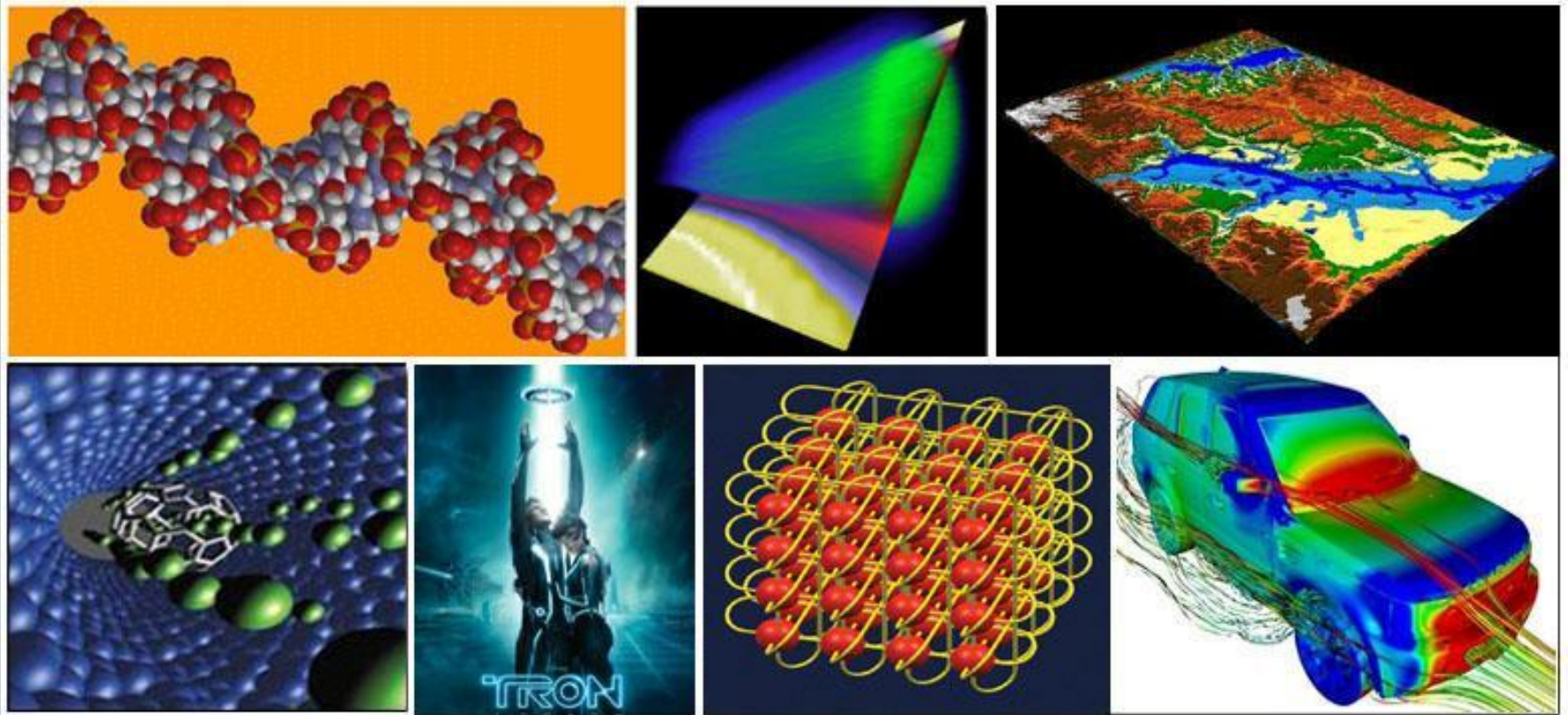


Рис. 17. Сфери застосування паралельних обчислень (індустрія та комерція)



# Рівні розпаралелювання

25

Класифікація паралельності за рівнями, що відрізняються показниками абстрактності розпаралелювання задач, наведена в табл.1. Чим "глибше" рівень, який має ознаки паралельності, тим детальнішим буде розпаралелювання, що стосується елементів програми (інструкція, елементи інструкції тощо). Чим вище розміщено рівень абстракції, тим більші блоки має паралельність.

Таблиця 1. Рівні паралельності

Рівні	Об'єкт обробки	Приклад системи
Програмний	Робота/Задача	Мультизадачна ОС
Процедурний	Процес	MIMD-система
Рівень формул	Інструкція	SIMD-система
Біт-рівень	В межах інструкції	Машина фон Неймана

# Рівні розпаралелювання

26

Кожний рівень має різні аспекти паралельної обробки. Методи і конструктиви рівня обмежуються тільки самим рівнем і не можуть бути поширені на інші рівні. Найбільший інтерес становить

- рівень процедур (великоблокова, асинхронна паралельність)
- рівень арифметичних виразів (малоелементна, детальна або масивна синхронна паралельність).

# Рівні розпаралелювання

27

## Програмний рівень

На цьому найвищому рівні одночасно (або принаймні розподілено за часом) виконуються комплексні програми (рис. 18).



Рис. 18. Паралельність на програмному рівні

# Рівні розпаралелювання

28

## Програмний рівень

Машина, що виконує програми, *не повинна бути паралельною ЕОМ*, досить того, що в ній наявна багатозадачна операційна система (наприклад, реалізована як система *розподіленого часу*). В цій системі кожному користувачеві відповідно до його пріоритету *планувальник* (scheduler) виділяє відрізок процесорного часу різної тривалості. Користувач одержує ресурси центрального процесорного блоку тільки впродовж короткого часу, а потім стає в чергу на обслуговування.

У тому випадку, коли в ЕОМ недостатня кількість процесорів для всіх користувачів (або процесів), що, як правило, найбільш імовірно, в системі моделюється паралельне обслуговування користувачів за допомогою "квазіпаралельних" процесів.

# Рівні розпаралелювання

## Рівень процедур

Різні частини програми мають виконуватися паралельно. Ці частини називаються "процесами" і приблизно відповідають послідовним процедурам. При проектуванні ПЗ задачі розбиваються на майже незалежні одна від інших частини так, щоб по можливості рідше виконувати операції обміну даними між процесами. Цей рівень паралельності ні в якому разі не обмежується розпаралелюванням послідовних програм. Існує велика кількість задач, які потребують паралельних структур цього типу навіть тоді, коли так само, як і на програмному рівні, у користувача є тільки один процесор.

Основне застосування рівня — загальна паралельна обробка інформації, де застосовується поділ задачі на паралельні підзадачі, які розв'язуються на багатопроцесорній системі.

# Рівні розпаралелювання

30

## Рівень арифметичних виразів

Арифметичні вирази виконуються паралельно покомпонентно, причому в значно простіших синхронних методах. Якщо, наприклад, йдеться про арифметичний вираз додавання матриць (див. рис. 19.), то він синхронно розпаралелюється так, що кожному процесорові відповідає один елемент матриці-результату.

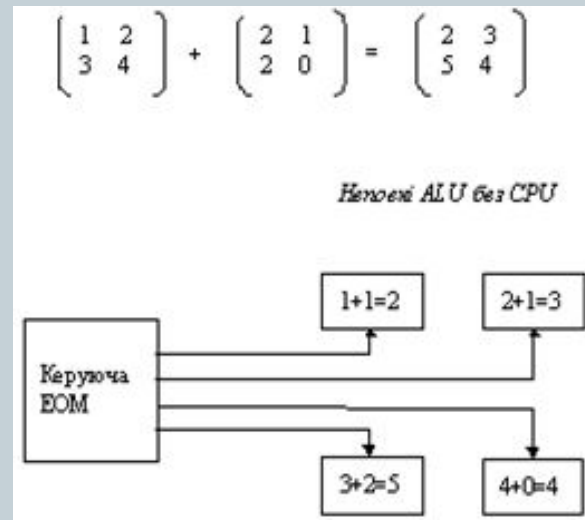


Рис. 19. Розпаралелювання при додаванні матриць

# Рівні розпаралелювання

## Рівень арифметичних виразів

При застосуванні  $n^2$  процесорних елементів можна одержати суму двох матриць порядку  $n^2$  за час, необхідний для виконання однієї операції додавання (за винятком часу, потрібного на зчитування та запис даних). Цьому рівню притаманні засоби векторизації та так званої паралельності даних. Останнє поняття пов'язане з детальністю розпаралелювання, а саме — з його поширенням на дані, які обробляє програмна система. Кільком елементам даних може відповідати свій процесор, завдяки чому ті дані, що в машині фон Неймана були пасивними, перетворюються на «активні обчислювальні пристрої».

# Рівні розпаралелювання

32

## Рівень двійкових розрядів

На цьому рівні відбувається паралельне виконання двійкових операцій в межах одного машинного слова. Паралельність на рівні бітів присутня в будь-якому мікропроцесорі. Наприклад, у 64-розрядному арифметико-логічному пристрої побітова обробка виконується паралельними апаратними засобами.



**Дякую за увагу!**